Réalité augmentée en C++ avec OpenCV

Christophe Vestri

Le mardi 21 mars 2017

Objectifs du cours

- Connaitre/approfondir la RA
- Avoir quelques bases théoriques
- Expérimenter quelques méthodes et outils
- Réaliser un projet en RA

- Evaluation:
  - Présence (20%)
  - Participation en classe (40%)
  - Projet (40%)

Plan du cours

- 28 février : Réalité augmentée intro Html5/JS
- 7 mars: Tag image, Unity/Vuforia projet final
- 14 mars: Leaflet/geoloc/device en JS
- 21 mars: Vision par ordinateur et RA (openCV – C++)
- 28 mars : GeoLoc Unity/Vuforia et Projets

Réalité augmentée en C++ avec OpenCV

Christophe Vestri

Le mardi 21 mars 2017

Plan Cours 4

- Vision par Ordinateur
  - Intro, comprendre l'image, formation
- OpenCV
- AR with OpenCV
  - RA à partir de Tags
  - RA à partir d'image
- Exercice

Avant de commencer

- Récupérez OpenCV

http://opencv.org/

- Récuperer les contribs

https://github.com/Itseez/opencv_contrib

- Récupérer Cmake

https://cmake.org/

- On l'installera puis testera des examples

Qu’est-ce que la Vision par Ordinateur

- Wikipedia:

La **vision par ordinateur** (aussi appelée **vision artificielle** ou **vision numérique**) est une branche de l'intelligence artificielle dont le principal but est de permettre à une machine d'analyser, traiter et comprendre une ou plusieurs images prises par un système d'acquisition (par exemple: caméras, etc.)[1].

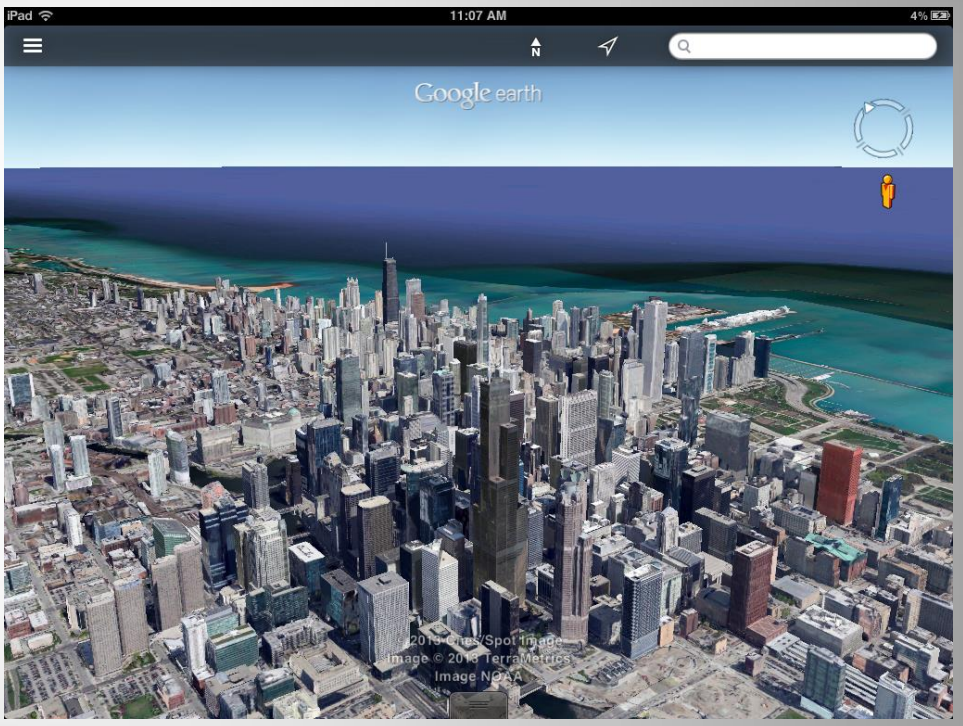
- Ma définition:

La **vision par ordinateur** regroupe les sciences et techniques permettant aux ordinateurs de **percevoir, voir** et **comprendre** l’environnement capté.

Google

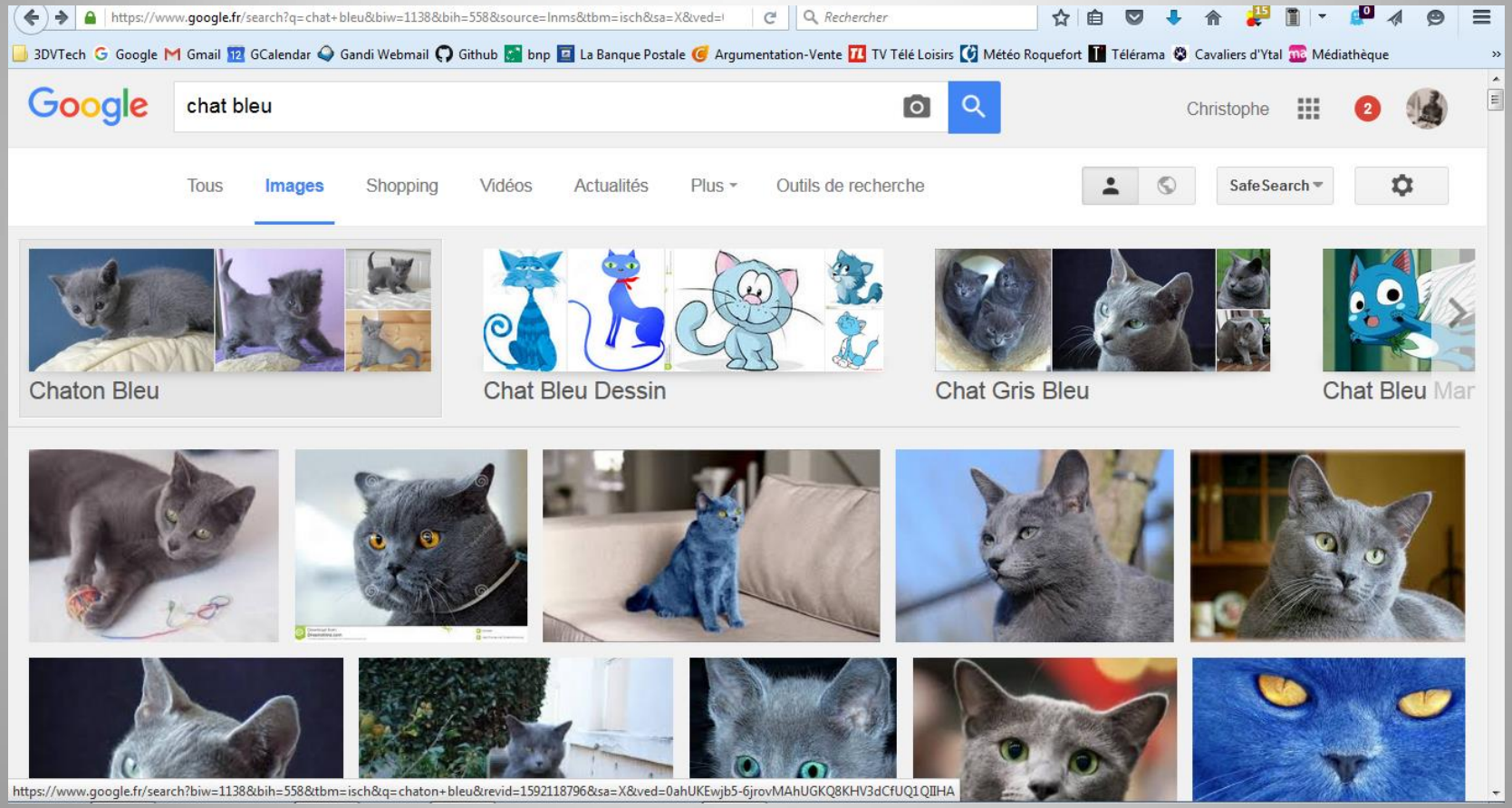
StreetView

Google Earth



Google

Moteur de recherche d'image, classification automatique (deep learning)

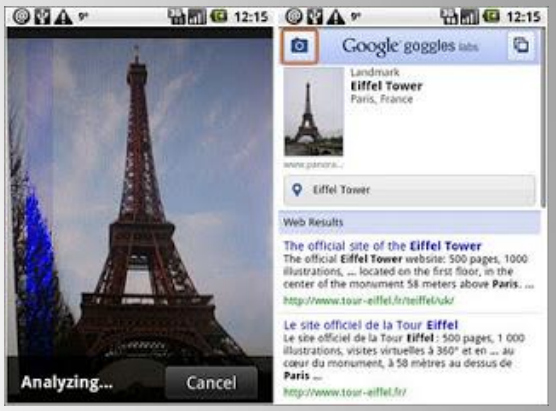


Google

Reconnaissance faciale

Google Glass

Google goggles



Reconstruction 3D (Tango)

Google Car

Autres exemples

- Overview: http://www.rsipvision.com/
- Robotique (liste entreprises):
  - https://www.aldebaran.com/fr
  - http://www.robosoft.com/
  - Robotique industrielle: Huget
- Automobile: Daimler, Mobileye
- Video: http://360designs.io/
  - http://www.video-stitch.com/
  - ABlive3D, Tagger

Autres exemples

- Médical: http://www.healthcare.siemens.fr/
- Capture de Mouvement: http://www.4dviews.com/
- Reconstruction 3D
  - Microsoft Kinect (structured light)
  - http://www.ign.fr/
- Vidéosurveillance http://www.evitech.com
- OCR (poste, plaques immatriculations)
- Contrôle et mesures…

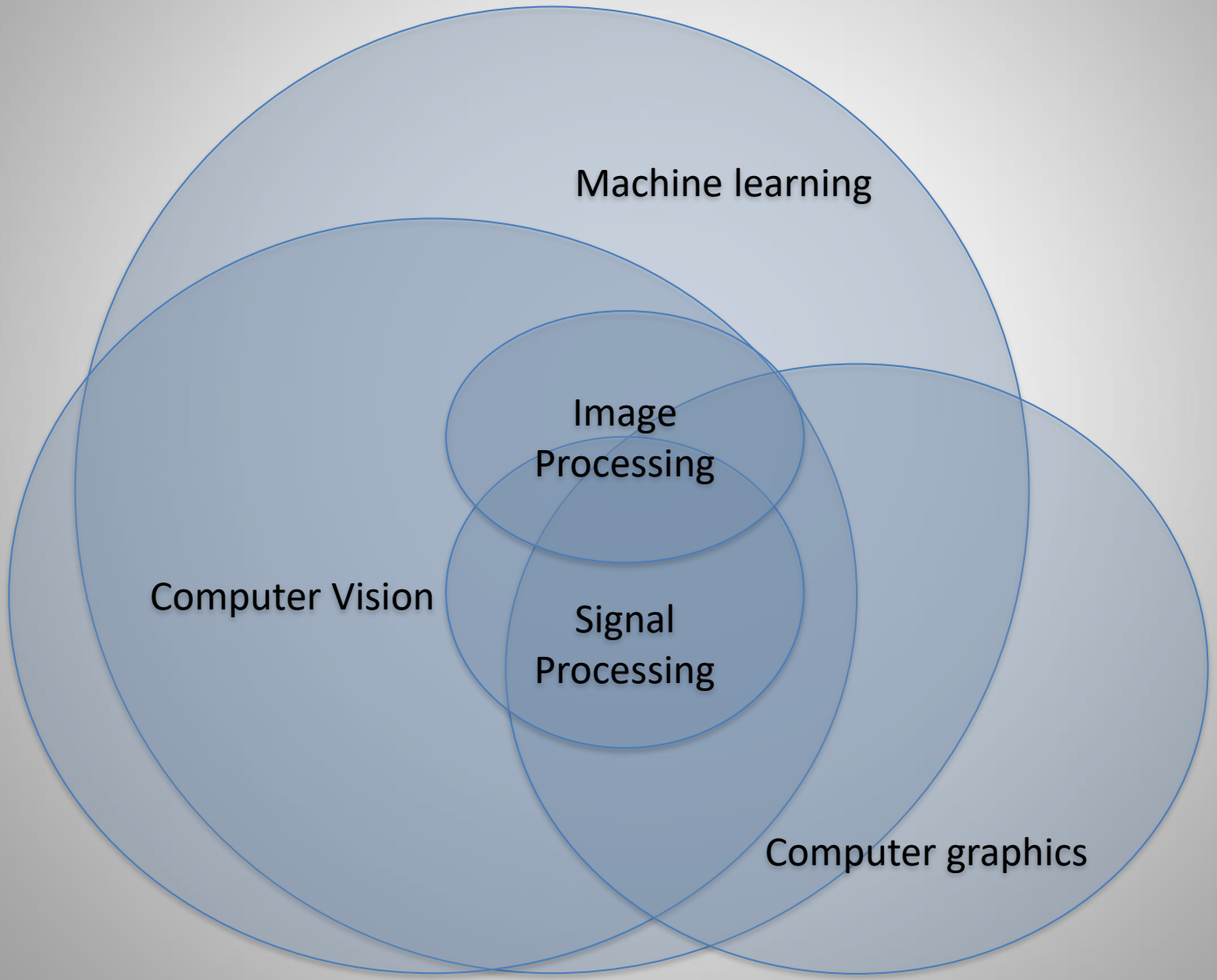
Autres exemples

- Effets spéciaux:
  - Image stabilisation, correction
  - Object/background removal, replacement
  - Artificial makeup, motion capture
  - 3d camera solver and object insertion
  - Mocha, After effect, Nuke, Natron
- Advanced image processing
  - Photoshop, gimp, paint.net

Domaines Connexes

Domain	Input	Output
Image processing	Image	Image
Signal processing	Signal	Signal, quantitative information, e.g. Peak location,
Computer vision	Image/video	Image, quantitative/qualitative information, e.g. size, color, shape, classification, etc…
Machine learning	Any feature signal, from e.g. image, video, sound, etc..	Signal, quantitative/qualitative information, image,…
Computer graphics	3D models, textures, lightings, data..	Image, video, stereoscopic, 360°, video games

Domaines Connexes



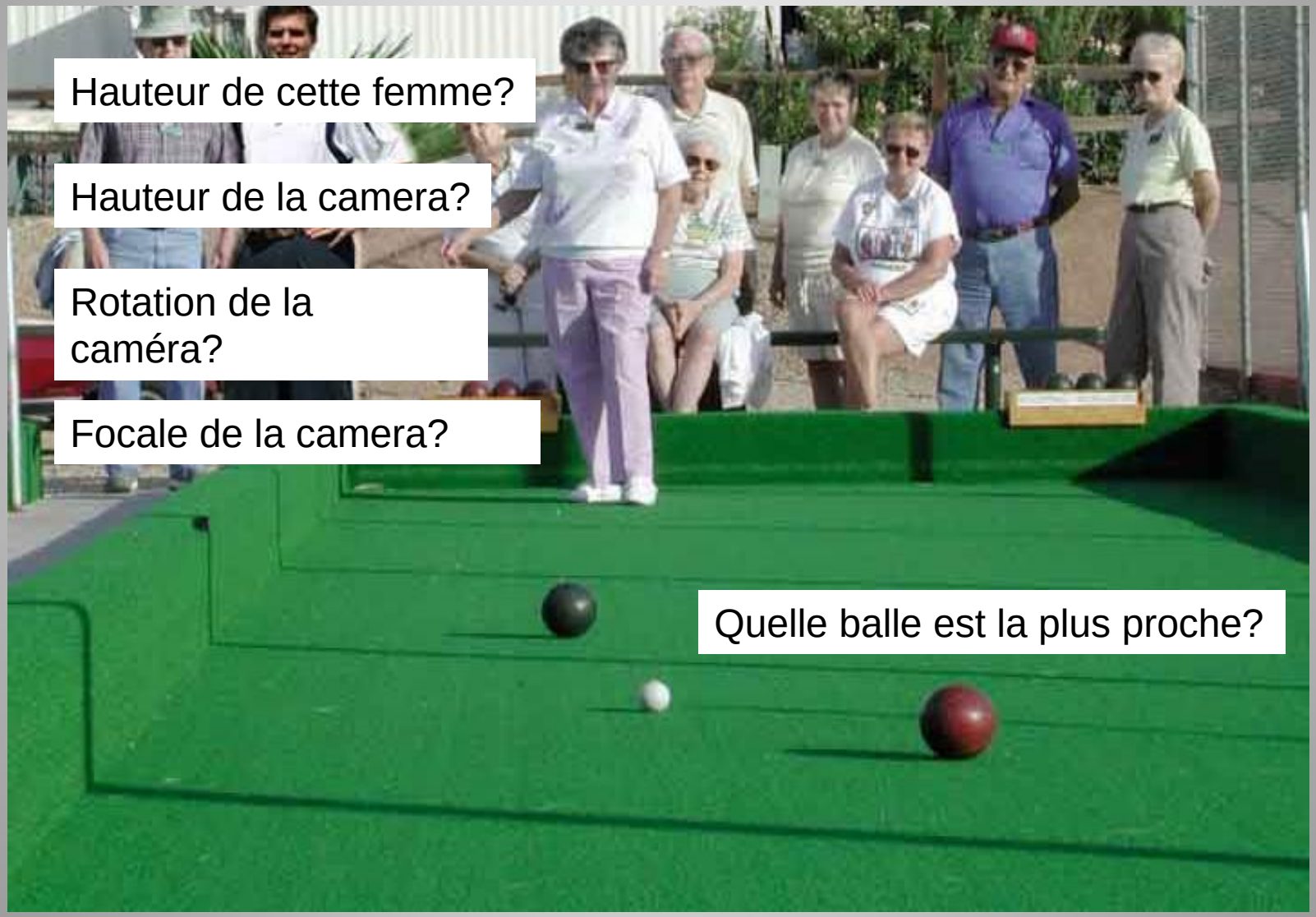
Quelques entreprises 06

- **Robocortex**: SDK
- **Lm3labs**: interfaces interactives
- **Acute3D:** reconstruction 3D
- **Digital Barriers**: video surveillance
- **Airbus, Thales**: Imagerie satellite
- **Median Technologies**: médical
- **Therapixel**: médical
- **Optis**: simulation

Introduction à la vision par ordinateur

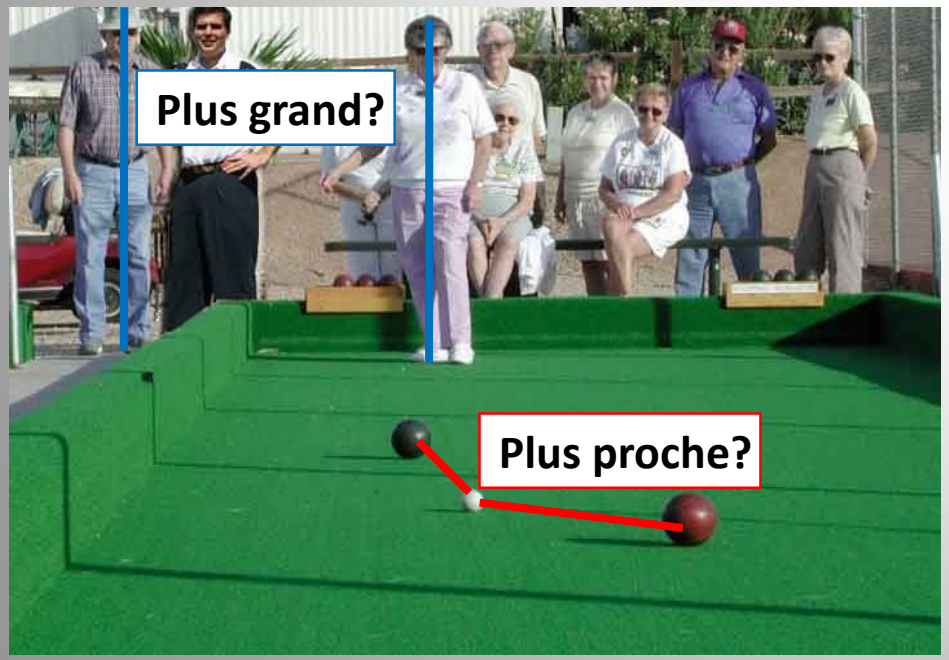
- Book: Richard Szeliski, Scott Krig
- Quelques cours:
  - Fei fei Li - Stanford
  - James Hays Georgia Tech
  - Marc Pollefeys ETH
  - Derek Hoeim Urbana-Champaign
- Algèbre linéaire
  - Stanford review
  - Matrix cookbook

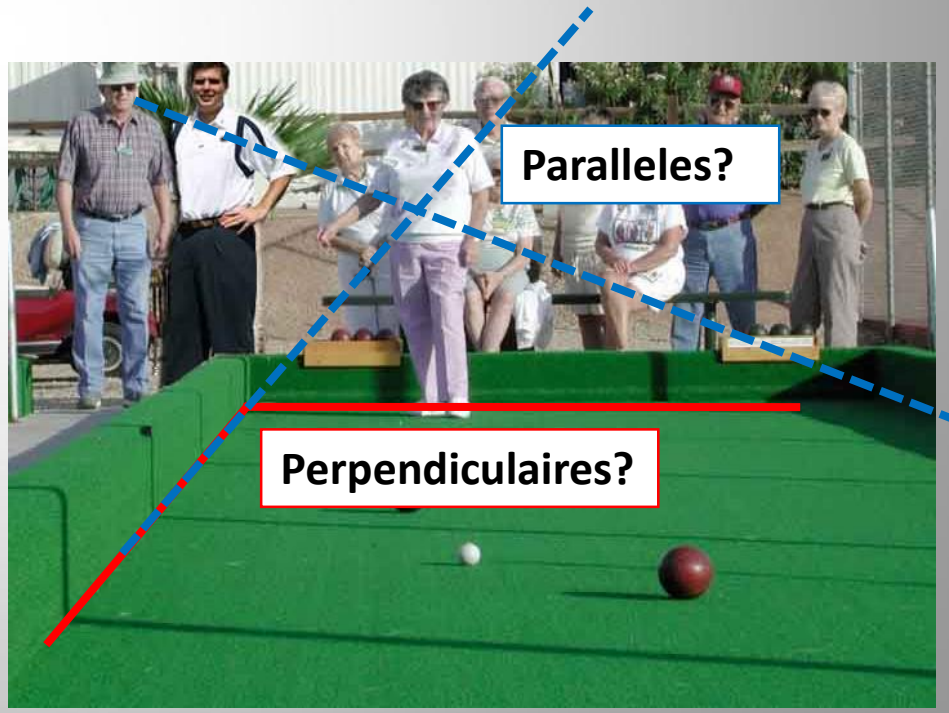
Comprendre l'image



Comprendre l'image

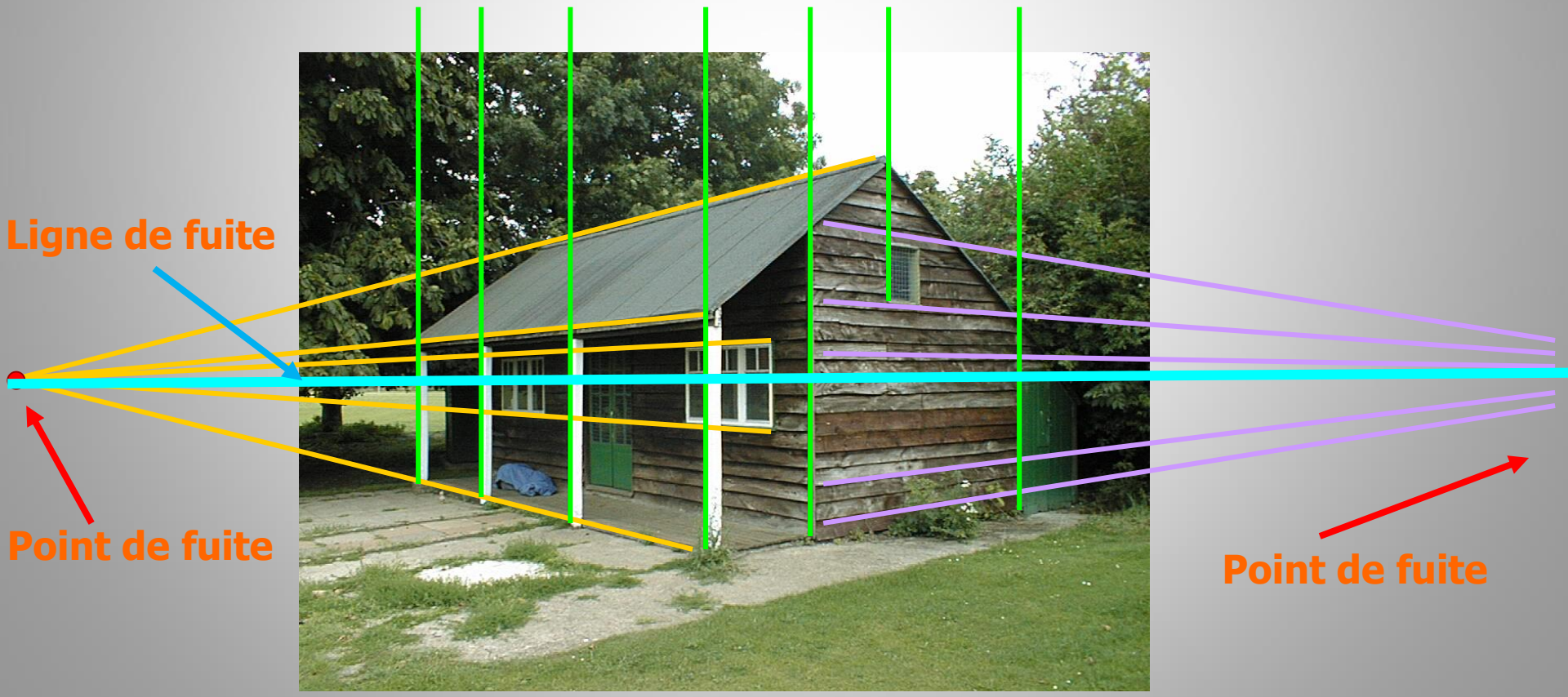
- Ce qui est perdu
  - Longueurs
  - Angles





Comprendre l'image

- Ce qui est préservé
  - Droites restent droites



Comprendre l'image

- Propriété géométriques de la projection
  - Points restent des points
  - Droites restent droites
  - Plans donnent l'image complète

    ou demi-plan
  - Polygones donnent des polygones
- Cas dégénés:
  - Droite à travers centre optique donne un point
  - Plan à travers centre optique donne une droite

3D->image = projection

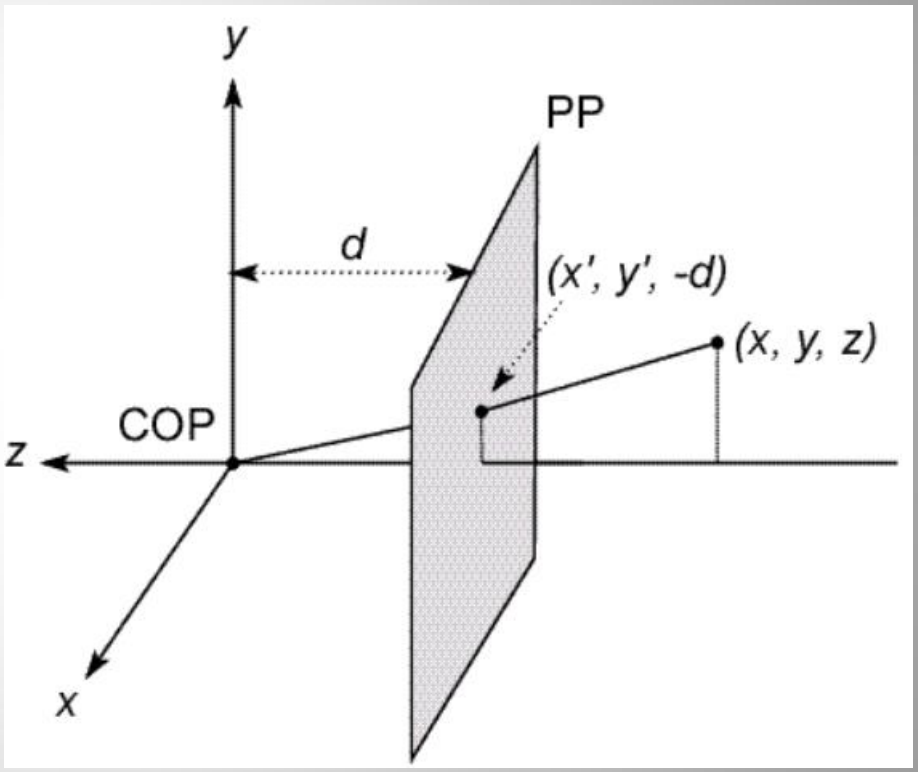
- Modèle de projection simple

Équations projection:

$$(X, Y, Z) \rightarrow (-d\frac{X}{Z}, -d\frac{Y}{Z}, -d)$$

- On obtient:

$$(x', y') = (-d\frac{X}{Z}, -d\frac{Y}{Z})$$



- Transformation non linéaire car division par Z
- **Trick: coordonnées homogènes**

Coordonnées homogènes

- Conversion

Conversion en coordonnées homogènes

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes image

$$(x, y, z) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes scène

Conversion à partir des coordonnées homogènes

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w, z/w)$$

Coordonnées homogènes

- Line equation: ax + by + c = 0

$$line_i = \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix}$$

- Append 1 to pixel coordinate to get homogeneous coordinate

$$p_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Line given by cross product of two points

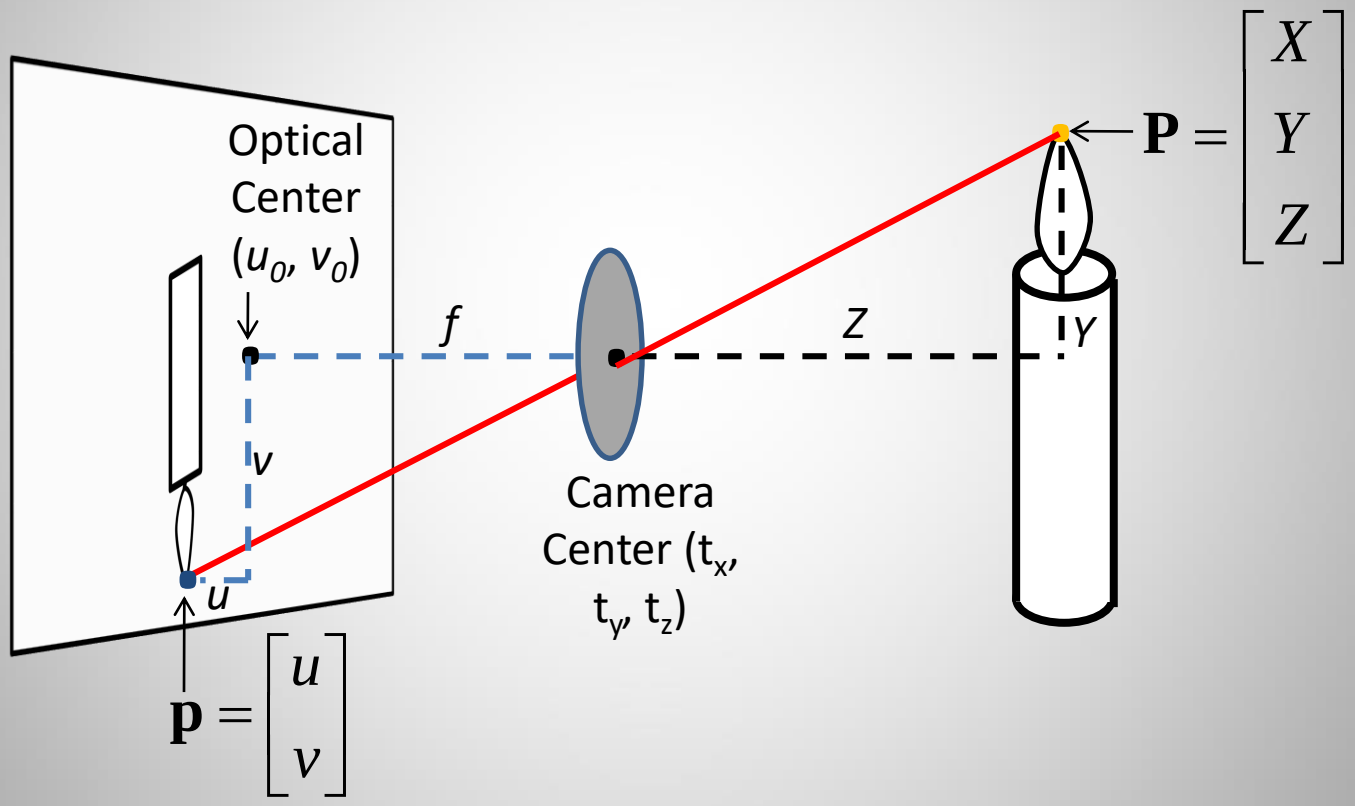
$$line_{ij} = p_i \times p_j$$

- Intersection of two lines given by cross product of the lines

$$q_{ij} = line_i \times line_j$$

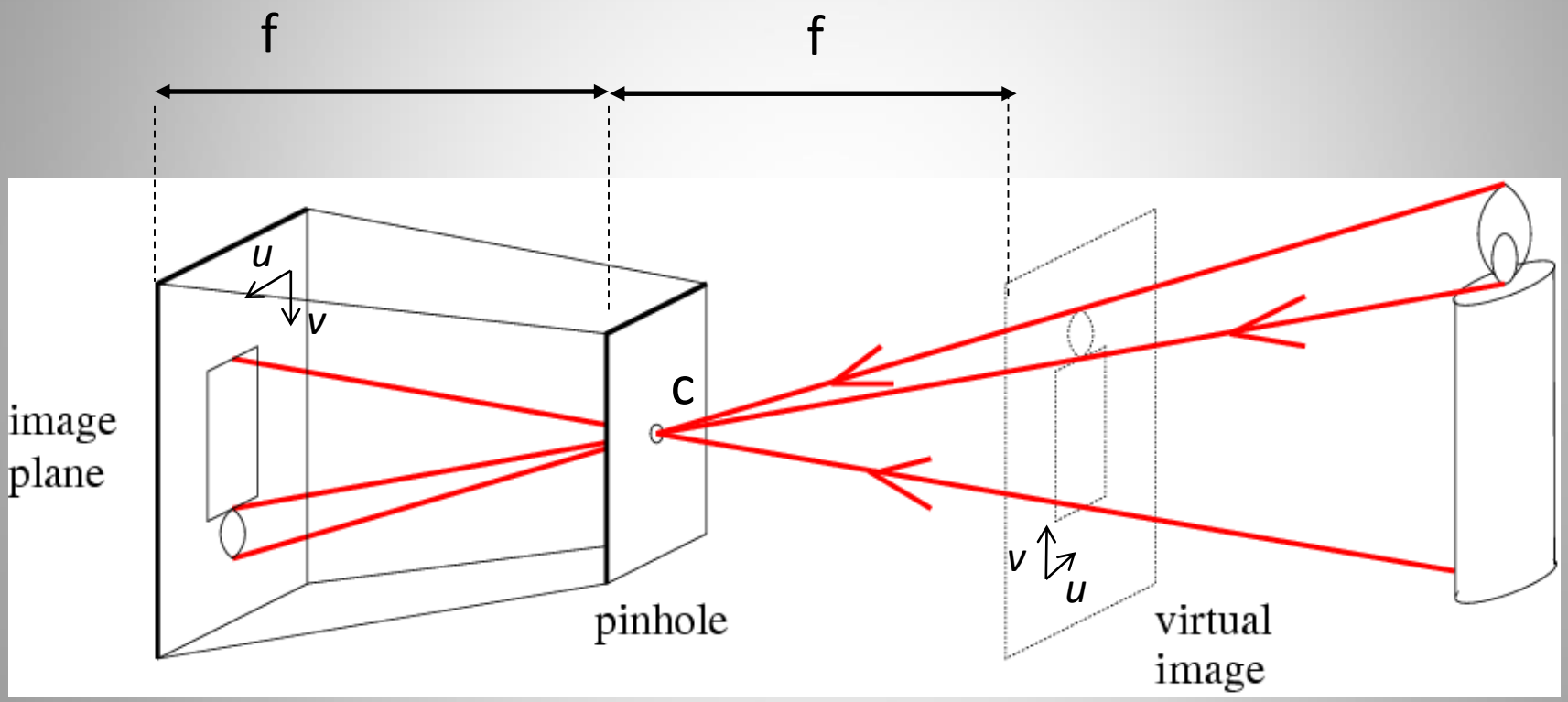
Formation de l'image

- Projection: world coordinates -> image coordinates



Formation de l'image

- Pinhole camera

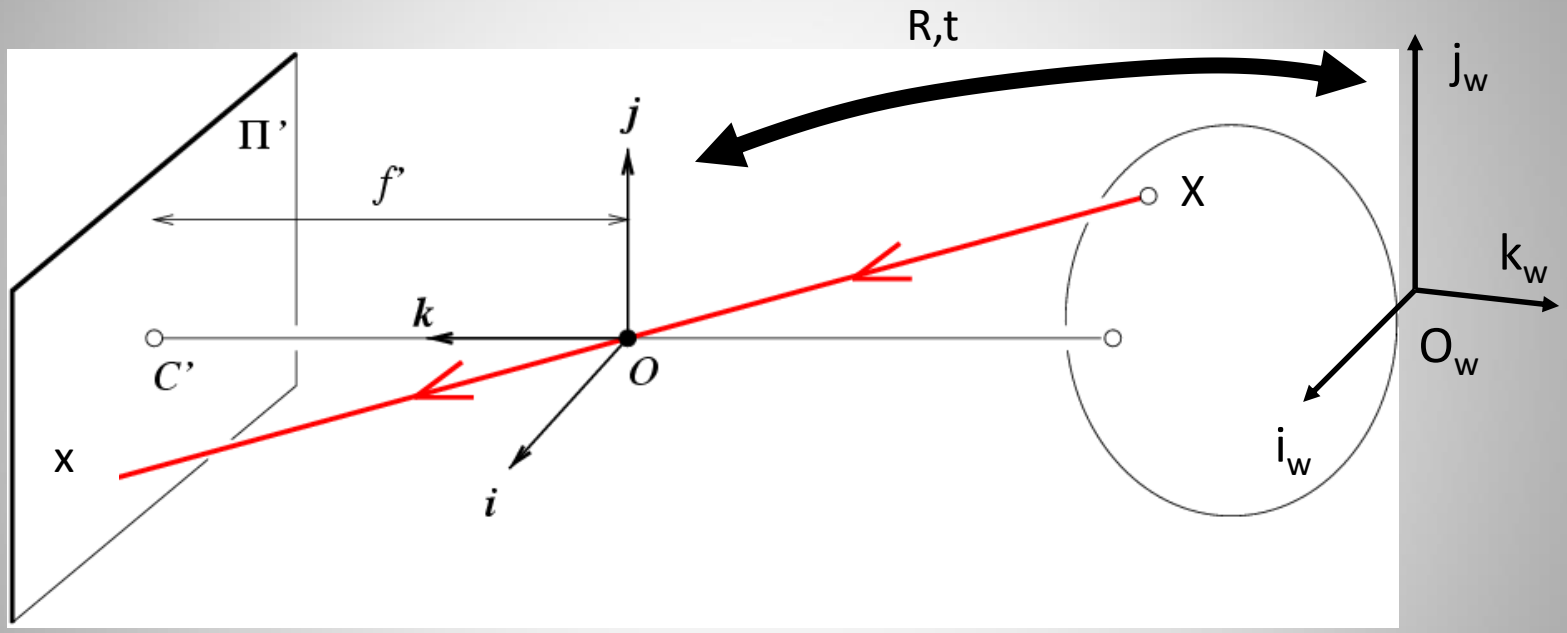


f = focal length

c = center of the camera

Formation de l'image

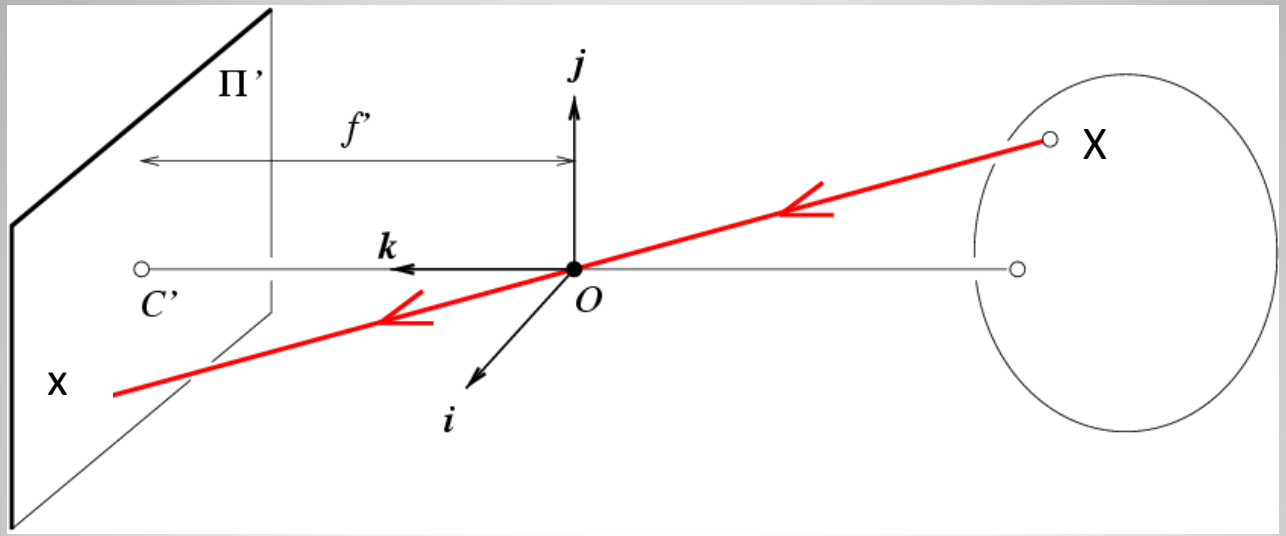
- Matrice de projection



$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{t}\end{bmatrix}\mathbf{X}$$

x: Image Coordinates: (u,v,1)
K: Intrinsic Matrix (3x3)
R: Rotation (3x3)
t: Translation (3x1)
X: World Coordinates: (X,Y,Z,1)

Formation de l'image



Hypothèses intrinsèques

- Aspect ratio de 1
- Centre optique en (0,0)
- Pixels carrés

Hypothèse extrinsèques

- Pas de rotation
- Camera en (0,0,0)

K

$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{I} & \mathbf{0}\end{bmatrix}\mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

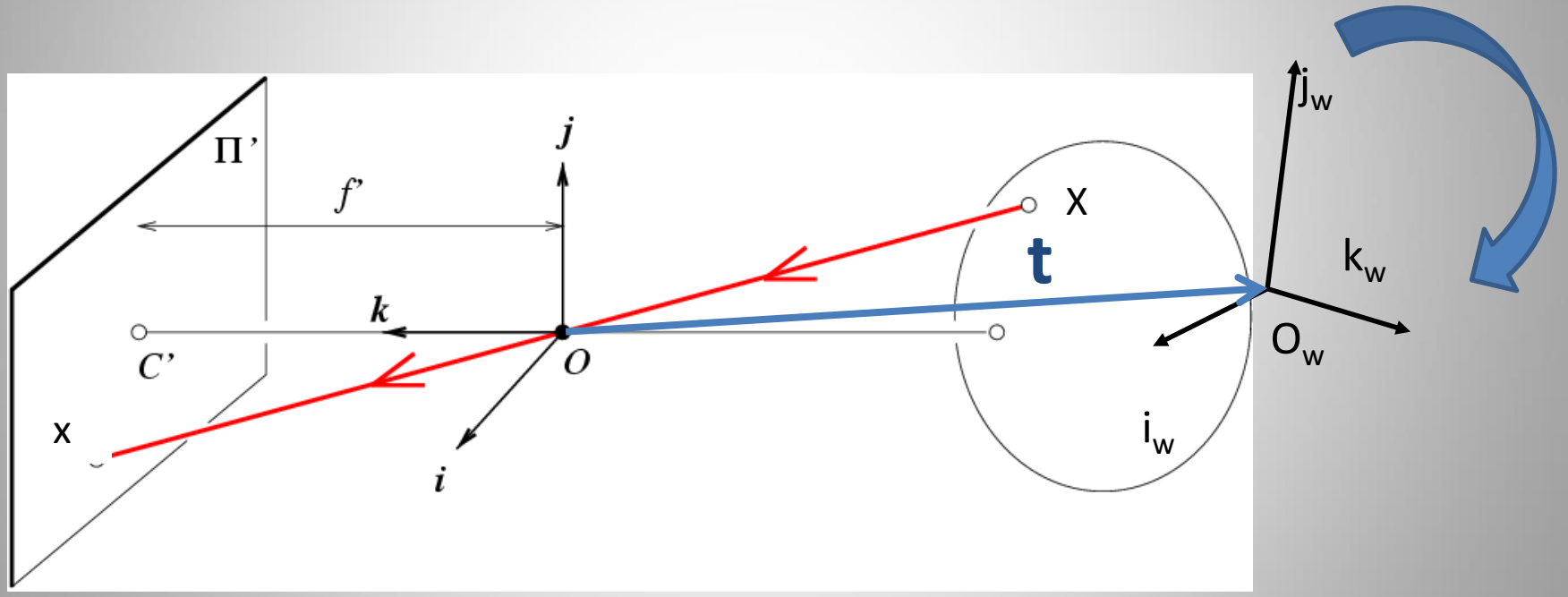
- En enlevant les hypothèses intrinsèques:
  - Centre optique connu
  - Pixels carrés
  - Pas de skew

Hypothèse extrinsèques
- Pas de rotation
- Camera en (0,0,0)

$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{I} & \mathbf{0}\end{bmatrix}\mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 & 0 \\ 0 & \beta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Caméra orientée et translatée



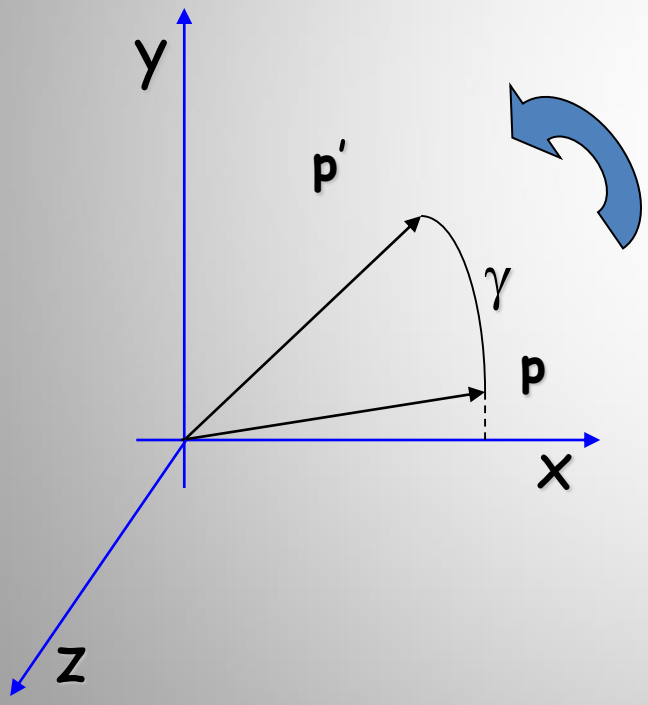
Formation de l'image

- On enlève l'hypothèse de Camera en (0,0,0)

$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{I} & \mathbf{t}\end{bmatrix}\mathbf{X} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Rotation autour des axes, counter-clockwise:



$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Formation de l'image

- Avec la rotation

$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{t}\end{bmatrix}\mathbf{X}$$

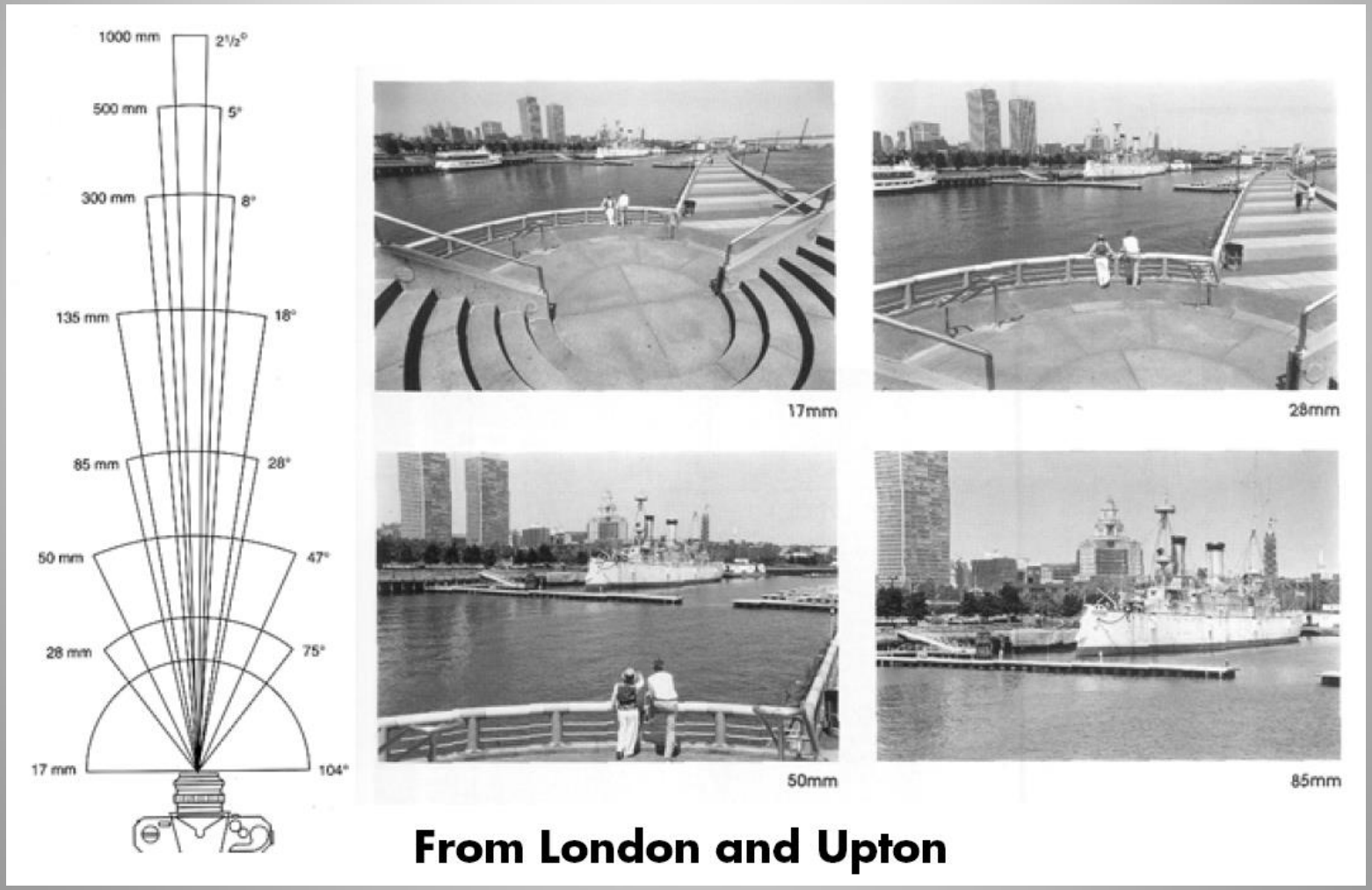
Degrès de liberté

5 6

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

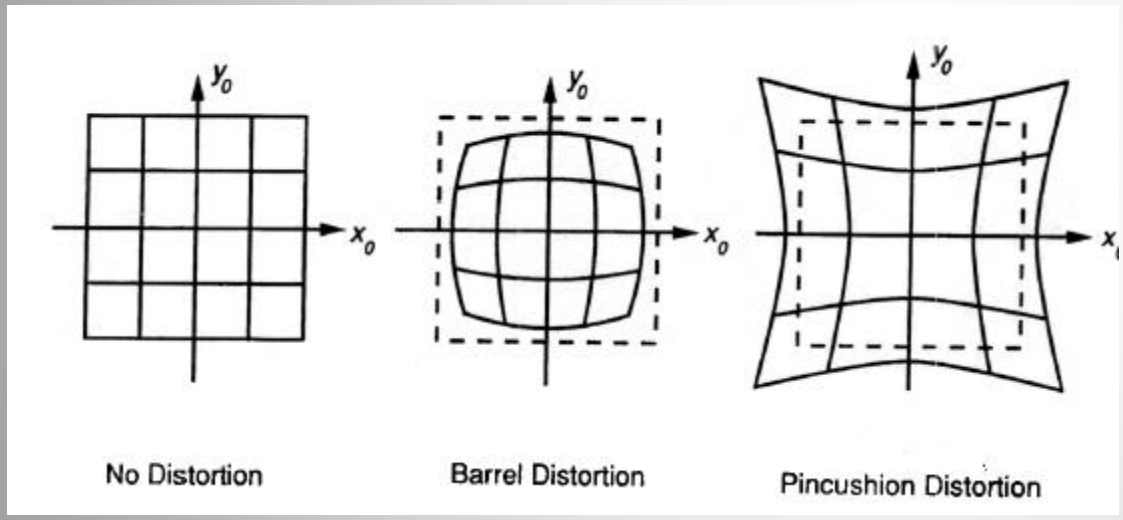
Formation de l’image

- Champs de vision (Zoom et focale)



Formation de l'image

- Lentilles et distorsion



Corrected Barrel Distortion

Traitement de l'image

- Image de couleur = 3 images
- Algorithmes avec 1 entrée => Image de gris

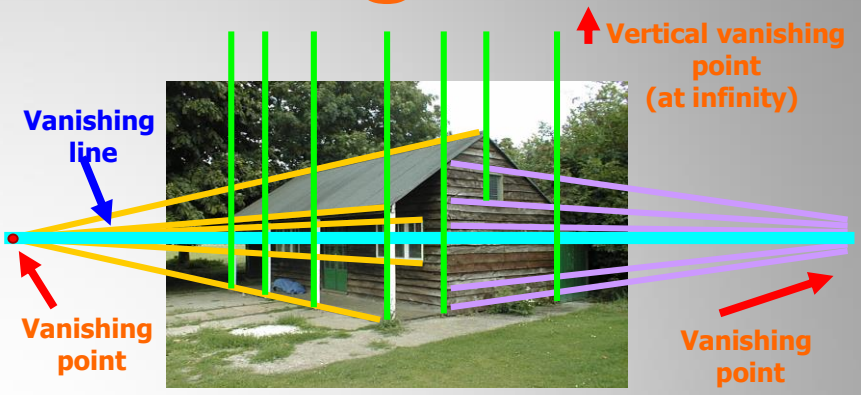
Traitement de l'image

0.92	0.93	0.94	0.97	0.62	0.37	0.85	0.97	0.93	0.92	0.99
0.95	0.89	0.82	0.89	0.56	0.31	0.75	0.92	0.81	0.95	0.91
0.89	0.72	0.51	0.55	0.51	0.42	0.57	0.41	0.49	0.91	0.92
0.96	0.95	0.88	0.94	0.56	0.46	0.91	0.87	0.90	0.97	0.95
0.71	0.81	0.81	0.87	0.57	0.37	0.80	0.88	0.89	0.79	0.85
0.49	0.62	0.60	0.58	0.50	0.60	0.58	0.50	0.61	0.45	0.33
0.86	0.84	0.74	0.58	0.51	0.39	0.73	0.92	0.91	0.49	0.74
0.96	0.67	0.54	0.85	0.48	0.37	0.88	0.90	0.94	0.82	0.93
0.69	0.49	0.56	0.66	0.43	0.42	0.77	0.73	0.71	0.90	0.99
0.79	0.73	0.90	0.67	0.33	0.61	0.69	0.79	0.73	0.93	0.97
0.91	0.94	0.89	0.49	0.41	0.78	0.78	0.77	0.89	0.99	0.93

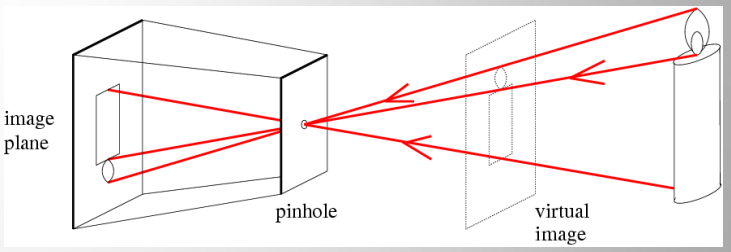
Formation de l'image

Rappel

- Points et droites de fuite



- Modèle de caméra Pinhole et matrice de projection



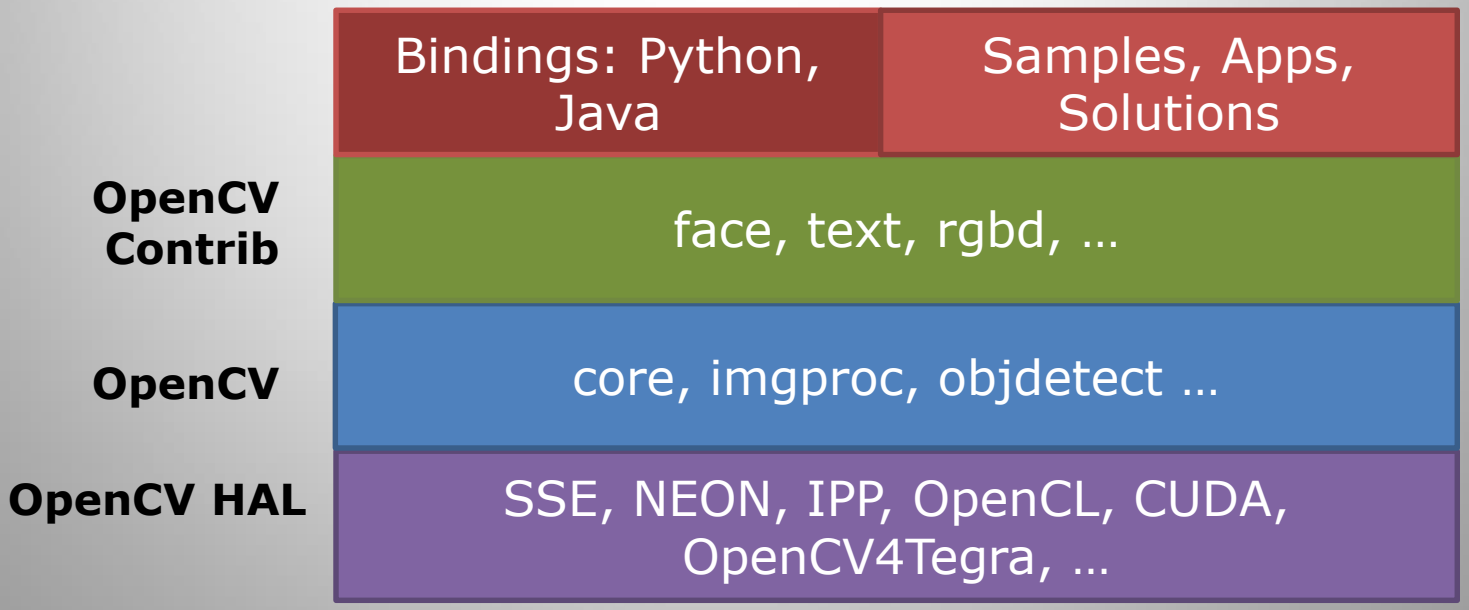
$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{t}\end{bmatrix}\mathbf{X}$$

- Coordonnées homogènes

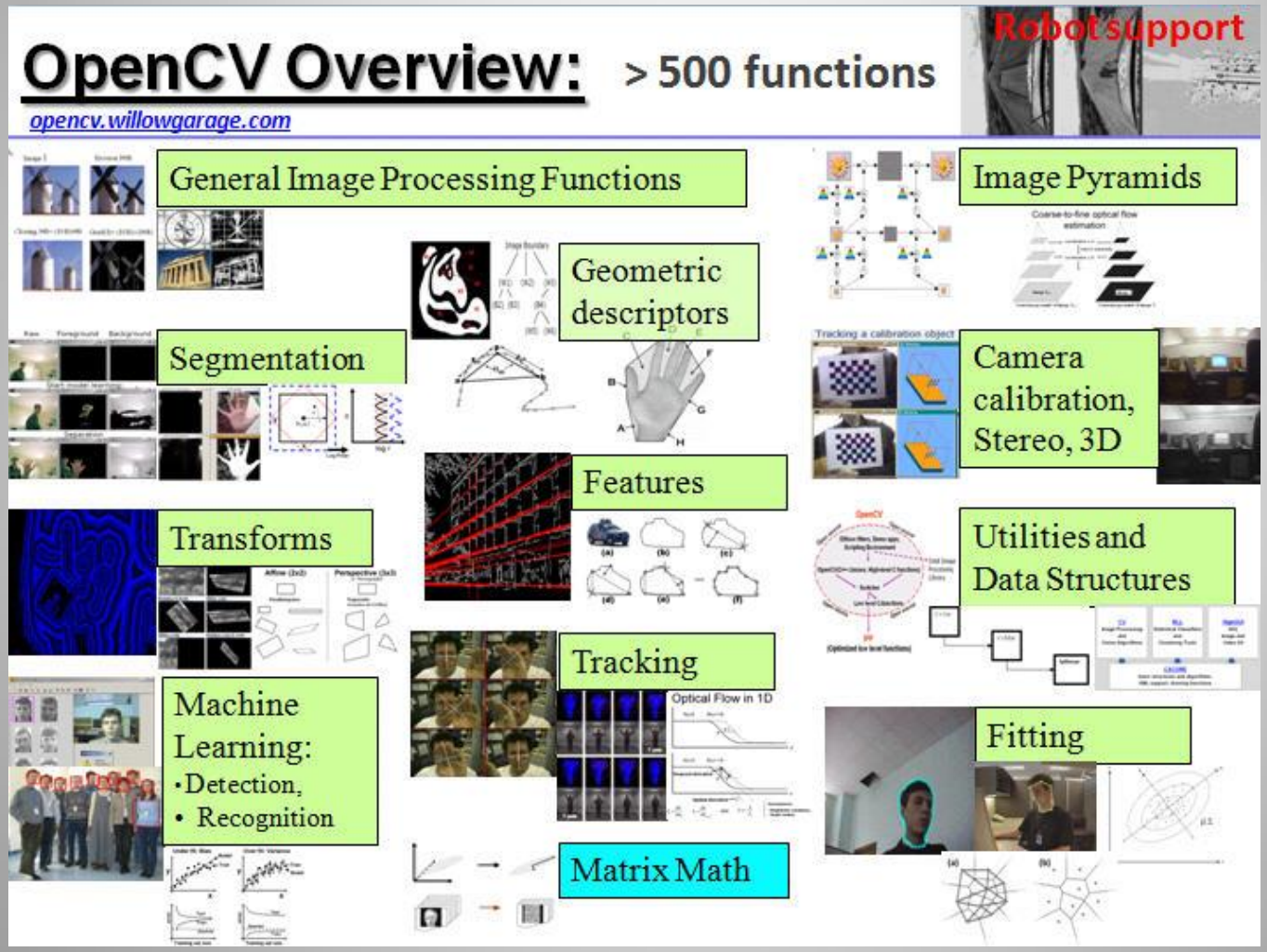
$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

OpenCV

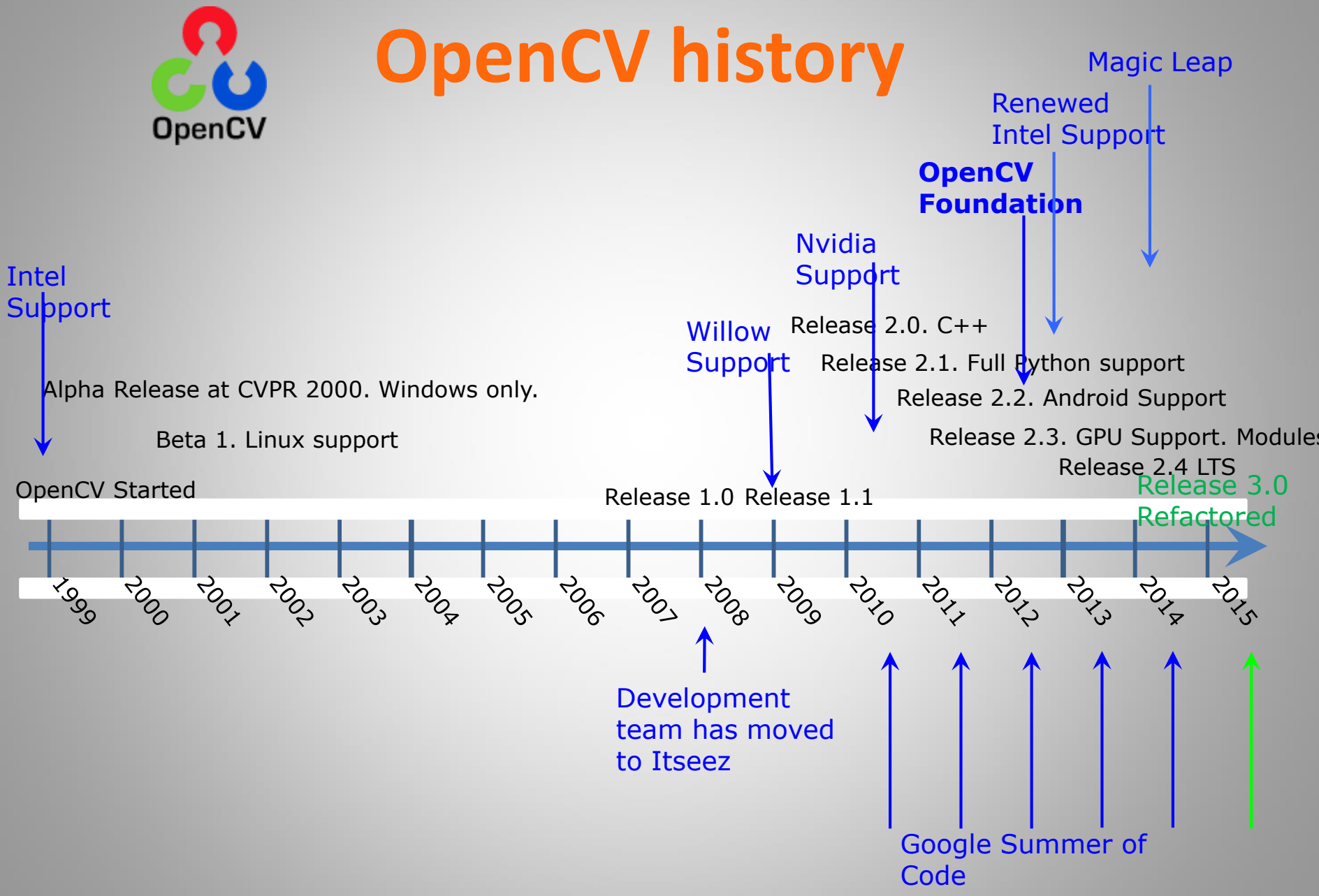
- http://opencv.org/ et https://github.com/Itseez/opencv
- Librairie opensource C++
- BSD license, **10M** downloads, **500K**+ lines of code
- Platforms:



OpenCV

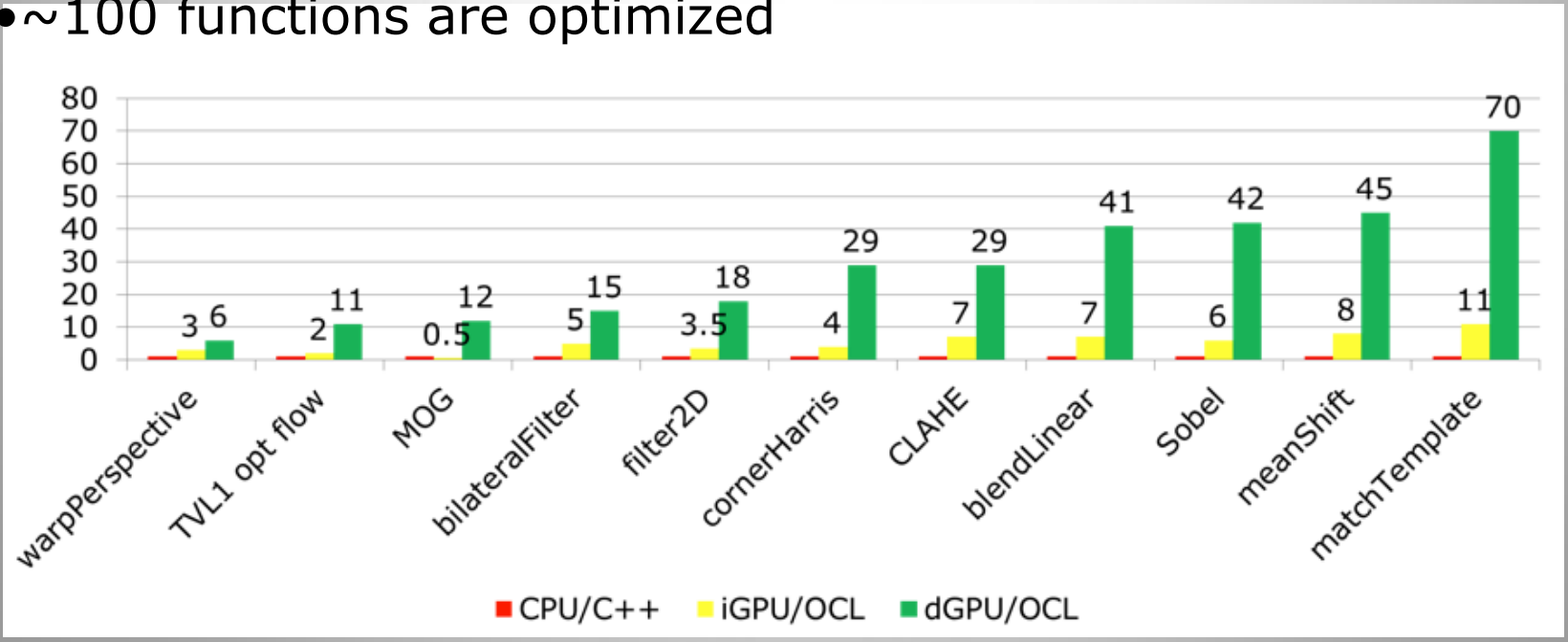

OpenCV Overview:
> 500 functions
opencv.willowgarage.com
Robot support
General Image Processing Functions
Image Pyramids
Geometric descriptors
Segmentation
Camera calibration, Stereo, 3D
Features
Transforms
Utilities and Data Structures
Tracking
Optical Flow in 1D
Machine Learning:
•Detection,
• Recognition
Fitting
Matrix Math

OpenCV history



Transparent API (T-API) for GPU acceleration

- single API entry for each function/algorithm – no specialized cv::Canny, ocl::Canny, gpu::Canny etc.
- uses dynamically loaded OpenCL runtime if available; otherwise falls back to CPU code. *Dispatching is at runtime, no recompilation needed!*
- ~100 functions are optimized



Coding in OpenCV

- OpenCV SheatCheet (attention version 2.4)

http://docs.opencv.org/3.0-last-rst/opencv_cheatsheet.pdf

- Guide de transition 2.4 -> 3.x

http://docs.opencv.org/3.1.0/db/dfa/tutorial_transition_guide.html

- Type de données dans les images (Matrices)

Identificateur: CV_<bit-dpth>{U|S|F}C(<nm_chnls>)

  - Uchar: CV_8UC1
  - 3-elements float (RGB): CV_32FC3

Coding in OpenCV

- Création matrices

```
1  Mat mtx(3, 3, CV_32F); // make a 3x3 floating-point matrix
2  Mat cmtx(10, 1, CV_64FC2); // make a 10x1 2-channel floating-point
3                             // matrix (10-element complex vector)
4  Mat img(Size(1920, 1080), CV_8UC3); // make a 3-channel (color) image
5                                      // of 1920 columns and 1080 rows.
6  Mat grayscale(image.size(), CV_MAKETYPE(image.depth(), 1)); // make a 1-channel image of
7                                                              // the same size and same
8                                                              // channel type as img
```

- Accès aux données

Access matrix elements

```
A33.at<float>(i,j) = A33.at<float>(j,i)+1;
```

```
Mat_<Vec3b>::iterator it = image.begin<Vec3b>(),
  itEnd = image.end<Vec3b>();
for(; it != itEnd; ++it)
  (*it)[1] ^= 255;
```

```
for(int y = 1; y < image.rows-1; y++) {
  Vec3b* prevRow = image.ptr<Vec3b>(y-1);
  Vec3b* nextRow = image.ptr<Vec3b>(y+1);
  for(int x = 0; x < image.cols; x++)
    for(int c = 0; c < 3; c++)
      dyImage.at<Vec3b>(y,x)[c] =
      saturate_cast<uchar>(
      nextRow[x][c] - prevRow[x][c]);
}
```

Coding in OpenCV

- OpenCL-aware code OpenCV-2.x

```
// initialization
VideoCapture vcap(...);
ocl::OclCascadeClassifier fd("haar_ff.xml");
ocl::oclMat frame, frameGray;
Mat frameCpu;
vector<Rect> faces;
for(;;){
    // processing loop
    vcap >> frameCpu;
    frame = frameCpu;
    ocl::cvtColor(frame, frameGray, BGR2GRAY);
    ocl::equalizeHist(frameGray, frameGray);
    fd.detectMultiScale(frameGray, faces, ...);
    // draw rectangles …
    // show image …
}
```

- OpenCL-aware code OpenCV-3.x

```
// initialization
VideoCapture vcap(...);
CascadeClassifier fd("haar_ff.xml");
UMat frame, frameGray; // the only change from plain CPU version
vector<Rect> faces;
for(;;){
    // processing loop
    vcap >> frame;
    cvtColor(frame, frameGray, BGR2GRAY);
    equalizeHist(frameGray, frameGray);
    fd.detectMultiScale(frameGray, faces, ...);
    // draw rectangles …
    // show image …
}
```

OpenCV informations

- http://opencv.org/
- http://docs.opencv.org/
- https://github.com/opencv/opencv/wiki
- https://github.com/ucisysarch/opencvjs
    1. https://www.intorobotics.com/opencv-tutorials-best-of/
    2. https://www.intorobotics.com/the-latest-opencv-tutorials-for-detecting-and-tracking-objects/
- Gsoc 2017 (DeadLine 3 avril): https://github.com/opencv/opencv/wiki/GSoC_2017
- https://www.youtube.com/watch?v=OUbUFn71S4s

Compilation d'OpenCV

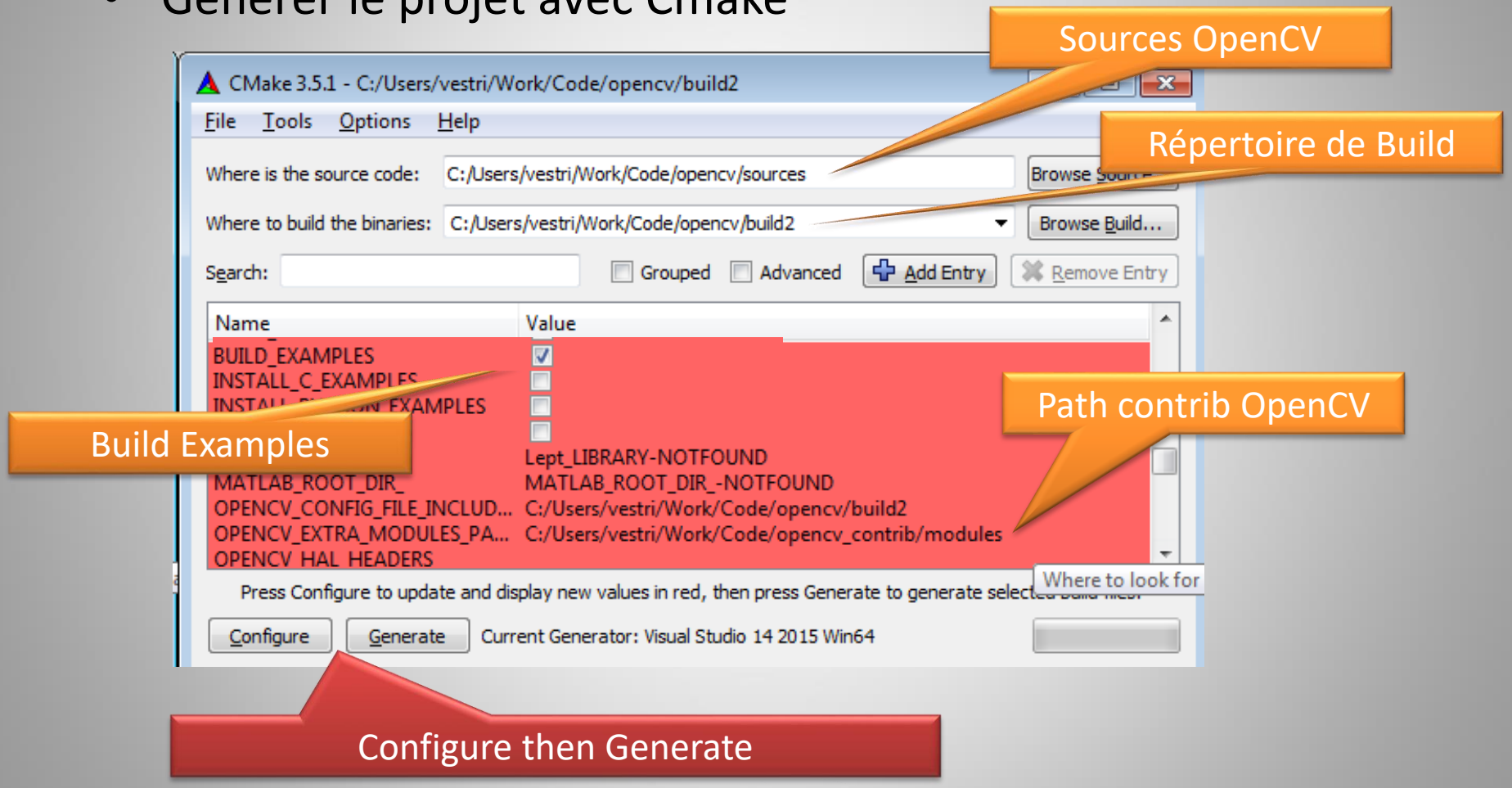
- Récupérez OpenCV, contribs et Cmake
  - http://opencv.org/
  - https://github.com/Itseez/opencv_contrib
  - https://cmake.org/
- Mettre OpenCV et OpenCVContrib dans un repertoire de travail
- Créer répertoire build2 dans répertoire OpenCV

  - openCV
    - build
    - build2
    - Sources
  - Opencv_contribs

- Installer Cmake

Compilation d'OpenCV

- Générer le projet avec Cmake



- Ouvrir OpenCV.sln et compiler en release

Exercices

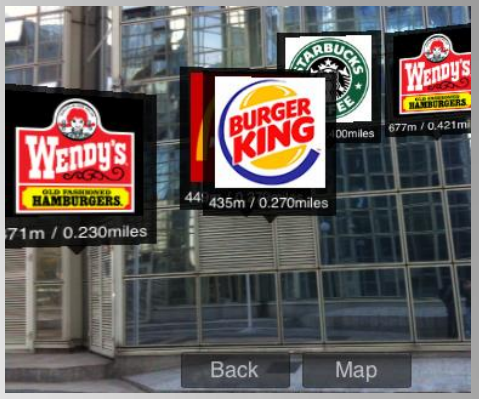
1. Installer OpenCV (http://opencv.org/)
2. Installer les contribs et recompiler OpenCV
3. Quelques exemples à tester (les définir en projet de démarrage)
    1. (Example) Facedetection
        1. copier opencv/sources/**data** dans build2
        2. Aller dans proriété projet / debogage et ajouter les paramètres

        --cascade="../data/haarcascades/haarcascade_frontalface_alt.xml"
    2. Lire et modifier une image http://docs.opencv.org/3.2.0/d3/dc1/tutorial_basic_linear_transform.html

Retour à la RA

- Suite
  - révision RA
  - RA exemples dans OpenCV
  - Exercice RA avec OpenCV

Types de RA mobile



Location-based:

- GPS pour localiser son téléphone
- Mesure orientation (compas, accéléromètre)

Caméras-marqueurs-based:

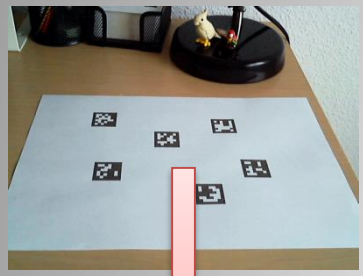
- Caméra pour détecter un marqueur dans le monde réel
- Marqueurs spécifiques ou images

Vision par ordinateur et RA

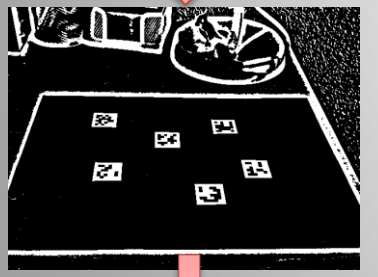
- Camera -> vision par ordinateur
- Plusieurs technologies
  - Détection de marqueurs spécifiques: coins, primitives naturels, carrés, ronds
  - Mise en correspondance: primitives, images
  - Reconnaissance d'image: monument, façade, visage
  - Reconnaissance d'objets: tables, chaise….
  - Recalage caméra: calcule de la pose
  - Traitement d'image: contraste, segmentation
  - Mixer image et synthétique

Technologies marqueurs specifiques

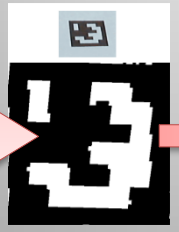
Acquisition vidéo

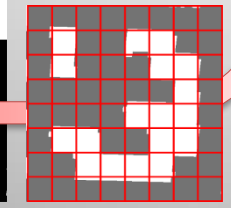


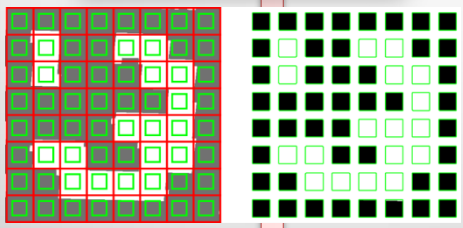
Gradients image



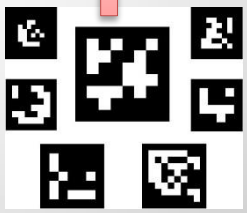
Extraction de Candidats



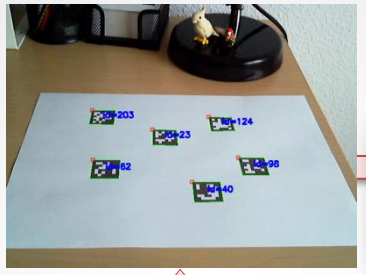




Identification du Pattern

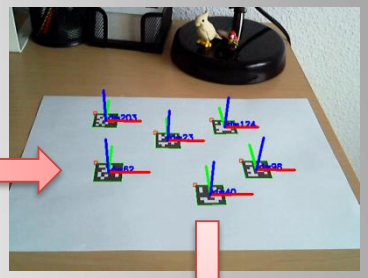


Bibliothèque de tags

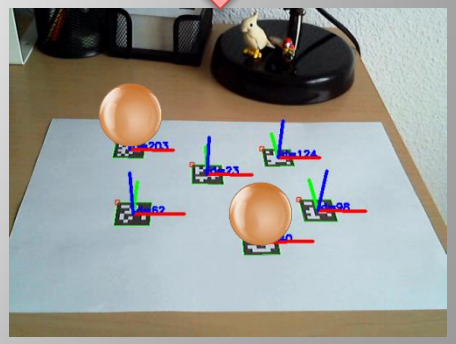


Calcul de la pose caméra

Calibration



Affichage 3D



Technologies marqueurs image

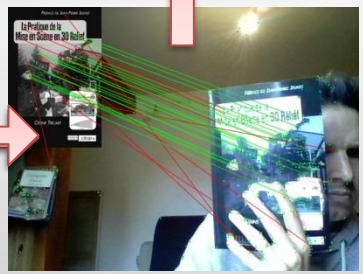
Références

Acquisition vidéo

Calibration

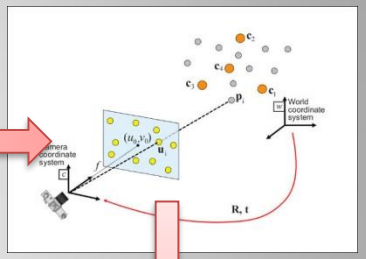
Détection coins et descripteurs

Matching

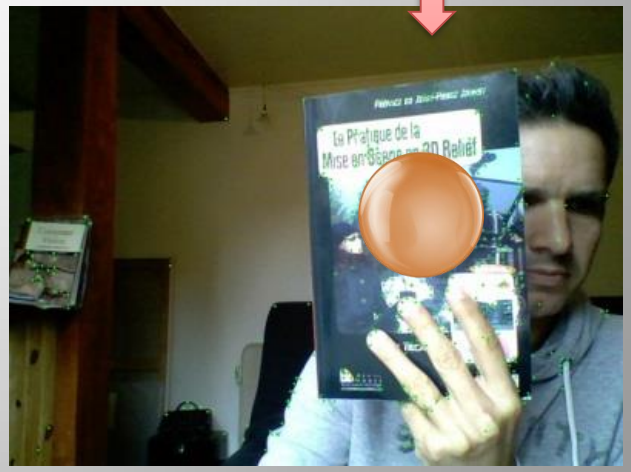


Localisation du Pattern

Calcul de la pose caméra



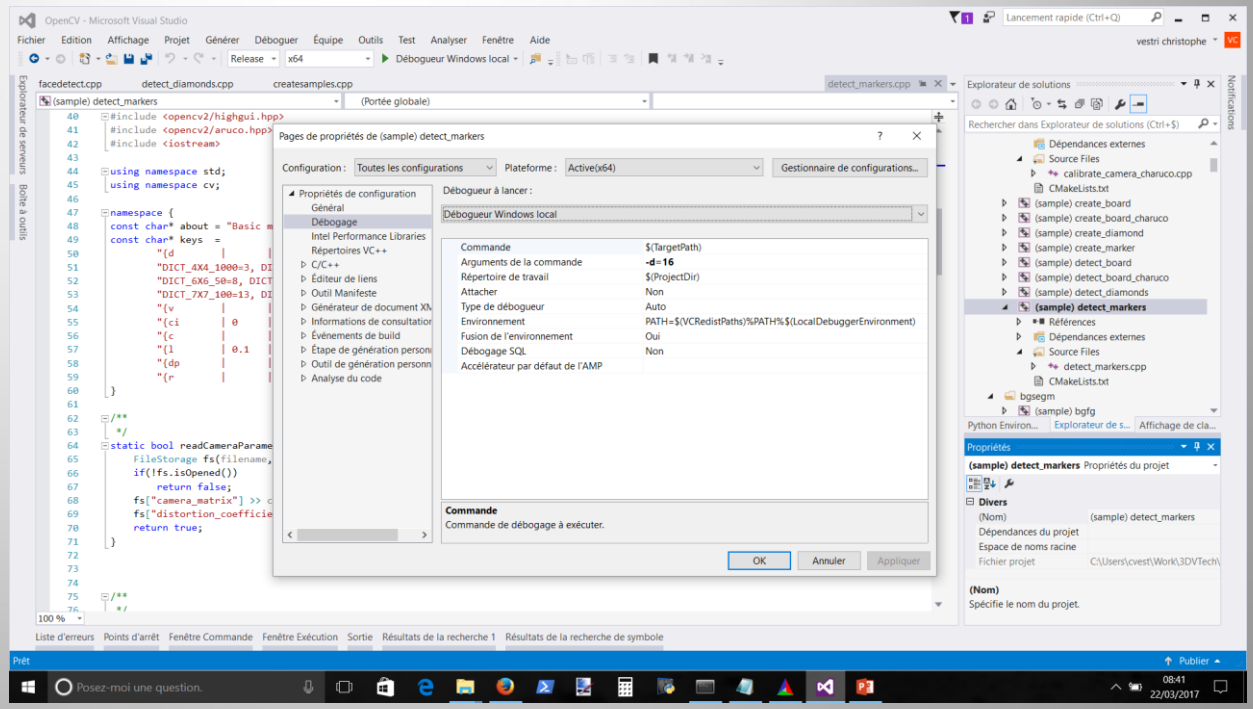
Affichage 3D



Exercices

1. Tester Aruco (samples) detect_markers
   http://docs.opencv.org/3.1.0/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html#gsc.tab=0
2. Ajouter l'option

–d=16



Pour la semaine prochaine

1. Préparer un projet/demo
   - Avec de la réalité augmentée
   - Unity&vuforia ou JS ou ce que vous voulez
   - Si possible présenter sur mobile
   - Expliquer en quelques mots projet ou difficultés
2. Idées a minima:
   - http://wirebeings.com/star-wars-augmented-reality.html
   - http://wirebeings.com/markerless-gps-ar.html
   - http://wirebeings.com/markerless-augmented-reality.html

A refaire pour le cours

1. Ne pas tout compiler
2. Trouver 1 ou appli sympa
3. Pb Mac select fichier et pomme<
4. Remontrer les détails
    1. aruco: –d=16
    2. Facedetection:
        1. copier data dans build2
        2. –sample=../../data
5. Développer image marqueur reconnaissance -> RA
    1. Extracteur de coins+descripteurs -> apprentissage
    2. Capture image+extraction+Matching
    3. Pose 3D + ajouter 1 objet 3D dessus
    4. Proposer un template pour cela